

**MINERALOGÍA DE ARCILLAS EN SUELOS ALCALINO-SÓDICOS
DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

por

Adrián M. Iñiguez y Carlos O. Scoppa

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

REPUBLICA ARGENTINA
BUENOS AIRES
1972

Mineralogía de arcillas en suelos alcalino-sódicos del noreste de la provincia de Buenos Aires

ADRIAN M. INIGUEZ¹ y CARLOS O. SCOPPA²

RESUMEN

Se analiza, por difracción de radiación X, la mineralogía de las arcillas que componen dos perfiles de suelos alcalino-sódicos, clasificados a nivel taxonómico de serie, que son representativos de ciertos sectores mal drenados del NE de la provincia de Buenos Aires.

Estas series, que se denominan Santa Lucía y Manantiales, pertenecen incluso a órdenes taxonómicos distintos, siendo el primero un Natracuol típico y el segundo un Natracuol mólico.

Se determinó que, en ambos perfiles, el mineral predominante es illita, al cual siguen, en orden decreciente de representatividad, montmorillonita y caolinita.

La distribución vertical también es similar, siendo illita abundante en los horizontes superiores, disminuyendo luego en los intermedios, para volver a aumentar en profundidad, donde también se nota una mala cristalinidad de las arcillas.

Por su parte, montmorillonita muestra un comportamiento totalmente inverso al del mineral antes mencionado, y caolinita sólo es cuantificable en los horizontes superiores.

Además, se constató la presencia de interestratificaciones del tipo illita-montmorillonita, que forman mezclas irregulares complejas en la parte superior de los perfiles.

La presencia de estos elementos en la zona de mayor actividad edáfica sugiere la posibilidad de una transformación de los minerales, de illita a montmorillonita, o viceversa, mediante interestratificaciones.

¹ Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigaciones Tecnológicas (LEMIT) del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires y CNICT.

² Unidad de Reconocimiento de Suelos. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales INTA.

Ingresó para su publicación en octubre de 1971.

Agradecimiento: Los autores quieren dejar expresado su sincero agradecimiento al Dr. LADISLAO BENEDEK por el aliento, consejo y colaboración brindado en cuanta oportunidad le ha sido posible.

Por otra parte, esta mineralogía no refleja las diferencias existentes entre los suelos, que obligan a ubicarlos aun en órdenes taxonómicos distintos.

En lo que se refiere a sus relaciones genéticas con los suelos bien drenados asociados, parece existir una mayor evolución de éstos respecto de aquéllos. Esto sería una consecuencia del deficiente drenaje y la alta alcalinidad de los perfiles analizados.

Asimismo, la formación de espejos de fricción entre agregados, (*slickensides*), obedecería no sólo a la existencia de arcillas de retículo expandible, sino también a la composición catiónica que presentan.

SUMMARY

Clay Mineralogy in Alkaline-sodic Soils of the Northeastern Portion of the Province of Buenos Aires.

There have been analyzed by X-Ray diffractometry, the clay minerals for two Alkali-sodic soil profiles taxonomically classified at the series level which are representative of certain poorly drained sectors of the N.E. of the Province of Buenos Aires.

These series, which were called, Santa Lucía and Manantiales, respectively, correspond even to different taxonomic orders because the first is a typic Natracuol, and the second is a mollic Natracuolf.

It has been determined for both profiles that illite is the most common clay mineral followed in decreasing order of representation by montmorillonite and kaolinite.

The vertical distribution is similar, illite is abundant in the upper horizons, decreases in the intermediate layers and increases again in depth, where it has also been noted a poor clay crystallinity. Montmorillonite shows the inverse behavior, and kaolinite is only quantifiable in the upper horizons.

It has been established the presence of interstratifications of an illite-montmorillonite type (10-14 Å), which comprise irregular and complex mixtures in the upper portions of the profiles.

The presence of these elements in the zone of the greater pedological activity suggests the possibility of a change in the minerals from a illite towards montmorillonite, or viceversa, through interstratifications.

On the other hand, this mineralogy does not reflect the differences which exist between the soils which obliges one to put them in different taxonomic orders.

In connection with their genetic relations with the well-drained associated soils, there seems to exist a greater evolution of these with respect to those here analyzed, as a consequence of the poor drainage and high alkalinity of the latter.

The formation of slickensides would be due not only to the presence of expandible lattice clays, but also to their cationic composition.

Introducción

La elaboración del mapa de suelos de la Región Pampeana ha permitido constatar dentro del área hasta el presente relevada, la existencia de una muy apreciable cantidad de suelos alcalino-sódicos. Su presencia se manifiesta aun en zonas cuya potencialidad agropecuaria es considerada entre las más importantes del país. Tal es el caso de la denominada "región maicera" del NE de la provincia de Buenos Aires, cuya alta productividad es bien conocida, y en la cual, junto a los excelentes suelos agrícolas, conviven estos otros, cuyas limitaciones por alcalinidad y drenaje los hacen ineptos para cultivos de cosecha aunque poseen potencialidad para la implantación de pasturas adaptadas.

Es en base a esta representatividad, que los autores han creído conveniente realizar una investigación sobre la mineralogía de las arcillas que integran este tipo de suelos, dentro de la mencionada región. Continúan así con los estudios que, sobre este tópico, iniciaran en los suelos "zonales" del área.

Para realizar este aporte, han trabajado sobre muestras de perfiles de suelos alcalino-sódicos, seleccionados de acuerdo con su representatividad geográfica, y que habían sido previamente clasificados a nivel taxonómico de *serie*.

La investigación se centró fundamentalmente, en la determinación cualitativa de los minerales de la fracción arcilla, efectuada por difracción de Rayos X. En base a ella, se analizaron las vinculaciones genéticas existentes entre horizontes y perfiles, y se hizo un estudio comparativo, en lo que hace a génesis y evolución, respecto de los suelos "zonales" del área.

Materiales y métodos

La determinación mineralógica de la fracción arcilla ($< 2\mu$), se realizó sobre muestras de cada uno de los horizontes que componen dos perfiles de suelos, reconocidos, analizados, cartografiados y clasificados a nivel taxonómico de serie por el Mapa de Suelos de la Región Pampeana, que viene realizando la Unidad de Reconocimiento de Suelos del CIREN-INTA.

Las descripciones morfológicas, los datos físico-químicos y las muestras utilizadas corresponden a perfiles representativos de esas series, denominadas Santa Lucía y Manantiales, respectivamente. Pertenecen a órdenes diferentes, incluyéndose la primera en los Molisoles y la segunda en los Alfisoles.

Estos suelos se desarrollan en las pendientes largas y suaves que marginan los cursos en la zona de nacientes de los ríos y arroyos que atraviesan el NE de la provincia de Buenos Aires, integrando la cuenta del Río Paraná.

Las mencionadas pendientes no presentan una superficie completamente regular, sino que se encuentran afectadas por un microrrelieve cuyas diferencias altimétricas, si bien no superan los 20 cm, son suficientes como para que en cada una de estas posiciones se desarrolle un suelo distinto. Así, en la parte positiva se encuentra Santa Lucía, y Manantiales en la negativa, alternando entre ellas una gama de intergradados.

De la misma manera, en los sectores marginales a los cauces, o sea en las condiciones topográficas más bajas, se incrementan las proporciones de Manantiales y disminuyen las de Santa Lucía.

Los materiales parentales están constituidos por sedimentos loessoides de textura franco limosa, los que pueden presentarse ligeramente alterados por la posición del nivel freático, el cual generalmente, oscila alrededor del metro de profundidad.

Se hallan geográficamente asociados a los suelos "zonales", Argiudoles típicos y Argiudoles vérticos, que en sus fases mal drenadas, pueden integrar unidades cartográficas complejas con los suelos Santa Lucía y Manantiales.

La determinación de los minerales de arcilla se efectuó en el Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigaciones Tecnológicas (LEMIT) del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires. Se siguió el método de difracción de Rayos X.

El tratamiento y separación se hicieron según las técnicas convencionales para este tipo de estudio.

Se analizaron 14 muestras, y de cada una de ellas se realizaron 3 preparaciones orientadas, sobre porta-objetos de vidrio, de la fracción menor de 2 micrones previamente concentrada.

Los difractogramas se obtuvieron con un equipo Philips, usando radiación de $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$), filtro de Ni, y con una velocidad de registro de 2°/minuto.

Las muestras se registraron de la siguiente manera: 1°) sin tratamiento, 2°) glicoladas, y 3°) calcinadas a 550° C durante dos horas. Se logró así un total de 42 difractogramas, de los cuales se presentan aquí sólo los más representativos.

Los diagramas obtenidos de esta forma sirvieron para la identificación de los minerales de arcilla. Sobre los mismos se practicó una estimación cuantitativa de los distintos minerales presentes, considerando la inten-

sidad de sus reflexiones según el método de JOHNS, GRIM y BRADLEY (1954).

Caracterización de las series de suelos estudiadas y de sus minerales de arcilla

Se describen a continuación los perfiles de las dos series de suelos estudiadas, dándose una breve descripción del ambiente en que se desarrollan y de su morfología, el análisis físico-químico y la clasificación. También se presentan la cualificación y cuantificación de los minerales de arcilla que las integran:

Serie Santa Lucía

Se desarrolla en las áreas positivas de microrrelieve presente en largas y suaves pendientes, de relieve normal-subnormal, cuyo gradiente es inferior al 1 %.

El nivel freático oscila entre 1 y 2 m de profundidad, y el escurrimiento superficial del agua es lento (grado 2). La permeabilidad también es grado 2 y en años excepcionales, puede producirse un anegamiento temporario.

Se trata de un suelo imperfectamente drenado (clase 2), que presenta tenores de Na^+ de intercambio superiores al 40 % antes de los 50 cm de profundidad (alcalinidad 23).

La vegetación natural bajo la cual se desarrolla está integrada principalmente por: *Altamiza*, *Melilotus alba*, *Conisa bonariensis*, *Stipa* sp., *Aristida* sp., y, en forma subordinada, *Distichlis spicata* y *Distichlis scoparia*.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

- A 11 (0-13 cm) Pardo a pardo oscuro, 10 YR 4/3 en seco; pardo oscuro 10 YR 3/3 en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 5,4; abundantes raíces; límite claro, suave.
- A 12 (13-25 cm) Pardo grisáceo oscuro, 10 YR 4/2 en seco; pardo grisáceo muy oscuro, 10 YR 3/2 en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 7,0; abundantes raíces; límite abrupto suave.
- B 21 (25-45 cm) Pardo grisáceo, 10 YR 5/2 en seco; pardo grisáceo oscuro, 10 YR 4/2 en húmedo; franco arcillo limoso; estructura prismática media moderada

que rompe a bloques angulares medios y finos fuertes; duro en seco; firme en húmedo; muy plástico; adhesivo, pH 8,4; escasas concreciones de CO_2Ca , abundantes barnices; escasos moteados de color 5 YR 3/4; escasas raíces; moderadas superficies de deslizamiento (*slickensides*), abundantes chorreaduras de materia orgánica; límite claro suave.

- B 22 (45-75 cm) Pardo, 7,5 YR 5/4 en seco; pardo a pardo oscuro, 7,5 YR 4/4 en húmedo; franco arcillo limoso a arcillo limoso; estructura prismática media fuerte que rompe a bloques medios fuertes; muy duro en seco; firme en húmedo; muy plástico; adhesivo; pH 9,1; moderadas concreciones de CO_2Ca ; barnices comunes; escasos moteados de color 5YR3/4; escasas superficies de deslizamiento (*slickensides*), chorreaduras de materia orgánica comunes, límite gradual suave.
- B 23 (75-100 cm) Pardo claro, 7,5 YR 6/4 en seco; pardo 7,5 YR 5/4 en húmedo; franco arcillo limoso; estructura prismática media fuerte que rompe a bloques medios fuertes, duro en seco; firme en húmedo; plástico; adhesivo; pH 9,2; moderada reacción al HCl en la masa; moderadas concreciones de CO_2Ca ; barnices comunes; moteados comunes de color 5 YR 3/4; chorreaduras de materia orgánica comunes, límite gradual suave.
- B 31 (100-128 cm) Pardo fuerte, 7,5 YR 5/6 en seco; pardo a pardo oscuro, 7,5 YR 4/4 en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares medios fuertes; ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; adhesivo; pH 9,1; escasa reacción al HCl en la masa, moderadas concreciones de CO_2Ca ; barnices comunes; abundantes moteados de color 5 YR 3/4, chorreaduras de materia orgánica escasas; límite gradual suave.
- B 32 (128-180 cm) Pardo claro, 7,5 YR 6/4 en seco; pardo, 7,5 YR 5/4 en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares gruesos y medios débiles con tendencia a masiva; blando en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 8,6; moderadas concreciones de CO_2Ca , abundantes moteados de color 5 YR 3/4; límite difuso suave.
- Cca (180-200 cm⁺) Pardo claro, 7,5 YR 6/4 en seco; pardo, 7,5 YR 5/4 en húmedo; franco limoso; estructura masiva; blando en seco; muy friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 8,7; moderadas concreciones de CO_2Ca ; moteados muy abundantes de color 5 YR 3/3, pequeñas lentes parcialmente cementadas.

Clasificación:

Natracuol típico.

Mineralogía de la fracción arcilla:

Los difractogramas de Rayos X (fig. 1) y la estimación cuantitativa sobre ellos practicada (Tabla 1) nos muestran que, en general, existe un claro predominio de illita (10 Å), acompañada por cantidades significativamente menores de montmorillonita (15 Å) y caolinita (7,1 Å).

Horizonte.....	A11	A12	B21	B22	B23	B31	B32	C
Profundidad (cm).....	0-13	13-25	25-15	45-75	75-100	100-128	128-180	180-200
Factor humedad.....	1,03	1,03	1 05	1,08	1,07	1,08	1,05	1,07
Materia orgánica :								
C (%).	2,18	1,18	0,43	0,29	—	—	—	—
N (%).	0,240	0,120	0,053	0,033	—	—	—	—
C/N.....	9	10	8	9	—	—	—	—
Textura en % :								
Arcilla (< 2 μ).....	20,1	21,2	26,4	37,6	32,5	22,8	20,3	24,3
Limo (2-20 μ).....	34,8	35,1	30,8	30,4	55,4	35,6	31,8	33,5
Limo (2-50 μ).....	66,9	65,1	57,5	50,1	51,5	63,3	63,6	62,6
Arena muy fina (50-100 μ).....	10,9	11,1	14,2	8,8	6,5	11,3	12,8	8,5
Arena fina (100-250 μ).....	1,2	1,3	1,0	0,9	0,4	1,5	2,8	1,4
Arena media (250-500 μ).....	1,0*	1,3*	0,9**	0,8*	0	0	0,4*	0,3
Arena gruesa (500-1000 μ).....	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena muy gruesa (1000-2000 μ).....	0	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃ (%). V.....	—	—	—	1,8	9,1	1,1	0,1	2,9
Equivalente de humedad (%).	29,1	27,0	30,5	68,4	53,8	35,6	28,1	32,1
Resistencia de la pasta Ohms/cm.....	3557	2740	1249	645	685	745	1290	1290
pH en pasta.....	5,7	6,5	7,4	7,9	7,9	7,9	7,7	7,6
pH en H ₂ O (1 : 2,5).....	6,0	7,3	8,4	9,0	9,0	8,9	8,6	8,6
pH en 1 N KCl (1 : 2,5).....	5,2	6,0	6,5	7,2	7,2	7,1	6,6	7,0
Conductividad (mmhos/cm).....				2,16	2,10	2,45		
Cat. de cambio (m. e./100 gr) :								
Ca ⁺⁺	7,1	7,7	6,5	—	—	—	—	—
Mg ⁺⁺	4,2	4,3	5,3	—	—	—	—	—
Na ⁺	0,6	2,1	7,5	15,5	15,1	9,6	4,2	3,0
K ⁺	2,5	2,4	2,7	3,4	3,5	3,3	2,9	3,1
% Na ⁺ en cambio del v. T.....		12	33	46	49	34	19	11
% agua de saturación.....	44	37	40	61	59	48	38	41
Valor S (m. e./100 gr).....	14,4	16,5	22,0	—	—	—	—	—
H. cambio (m. e./100 gr).....	6,8	3,9	2,5	—	—	—	—	—
Valor T (m. e./100) NH ₄ + 6 Na ⁺	17,9	17,6	22,6	33,6*	30,9*	28,5*	21,9*	27,4*
% de saturación :								
de T.....	81	94	98	—	—	—	—	—
de S + H.....	68	81	89	—	—	—	—	—

Observaciones : * Arenas y agregados. ** Agregados.

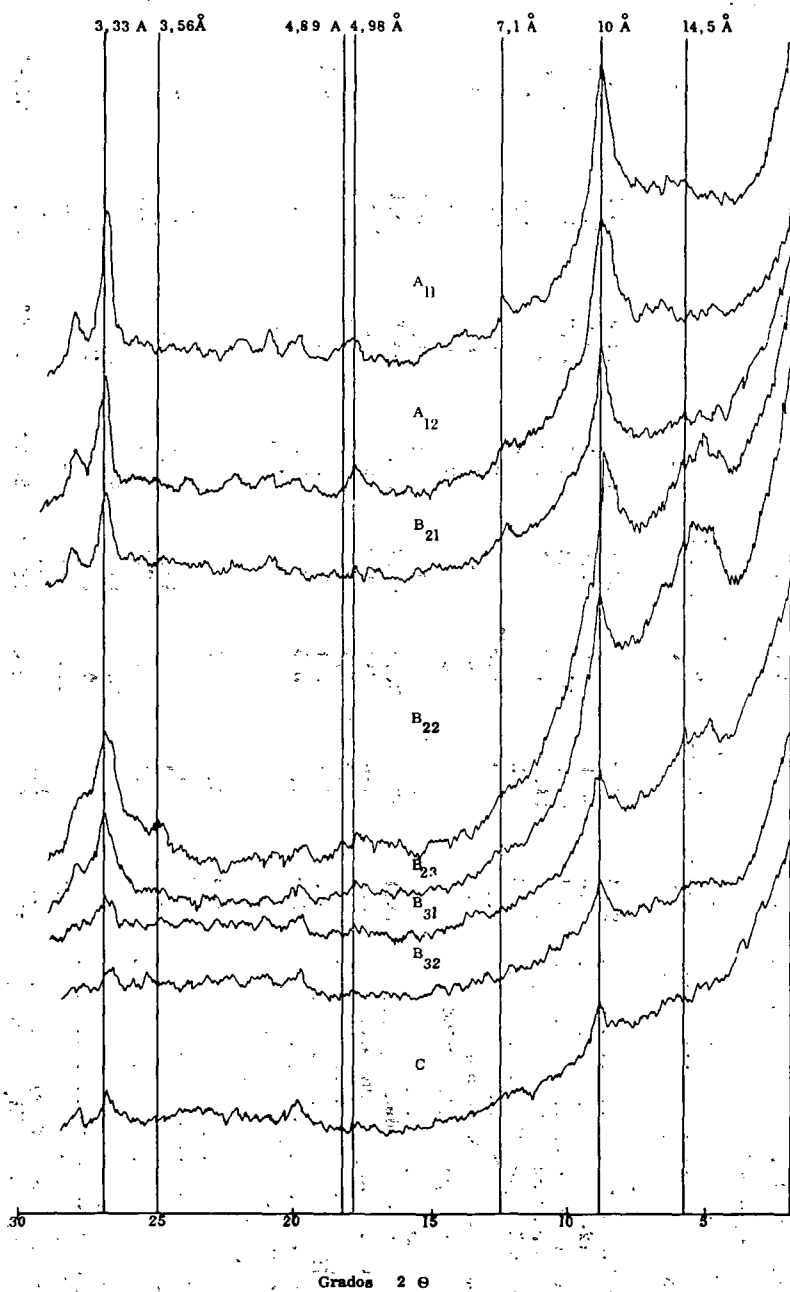


Fig. 1. — Diffractogramas de Rayos X del perfil de la serie Santa Lucía (fracción $< 2\mu$).
Muestras naturales

TABLA 1.
Perfil Santa Lucía

Horizonte	Profundidad	% Montmorillonita	% Illita	% Caolinita	% Feldespato
A11	0-13	5	85	10	escaso
A12	13-25	5	85	10	»
B21	25-45	10	80	10	»
B22	45-75	25	75	—	—
B23	75-100	30	70	—	escaso
B31	100-128	30	70	—	—
B32	128-180	20	80	—	—
C	180-200	20	80	—	escaso

Sin embargo, a pesar de esta evidente superioridad de illita, es posible distinguir ciertas variaciones porcentuales entre los diferentes minerales de arcilla a través de los distintos horizontes que componen el perfil (fig. 2). Es así que illita presenta sus mayores porcentajes en los horizontes superiores, A 11 y A 12, disminuye en los intermedios, B 21, B 22, B 23 y B 31, y luego vuelve a aumentar ligeramente en el B 32 y el C, aunque sin llegar a alcanzar los valores encontrados en A 11 y A 12.

Por su parte, montmorillonita observa una distribución totalmente inversa a la descripta para illita. Se incrementa a partir del horizonte B 21, y alcanza su mayor representatividad en el B 23 y el B 31. A partir de este último, vuelve a disminuir ligeramente en los dos horizontes inferiores, B 32 y C, pero sus porcentajes son algo mayores a los presentes en A 11 y A 12.

Sin duda, caolinita es el mineral de arcilla más escaso, y sólo se encuentra, en muy pequeña cantidad, en los tres horizontes superiores, A 11, A 12 y B 21.

El feldespato (F), que acompaña a la fracción menor a 2 micrones, si bien es detectable en los difractogramas, no alcanza a representar valores significativos.

También es de destacar que existe una baja cristalinidad de los minerales de arcilla en profundidad, lo cual se pone claramente de manifiesto a partir del horizonte B 31.

El análisis de los difractogramas pertenecientes a las muestras glicoladas y calcinadas (fig. 5) permite apreciar en las reflexiones 001, correspondientes a illita, la existencia, en ciertos casos, de picos definidos en la

zona de 10 a 12 Å. Estos indicarían la presencia de illita expandible, o illita abierta de los franceses, que parece ser una interstratificación del tipo illita-montmorillonita.

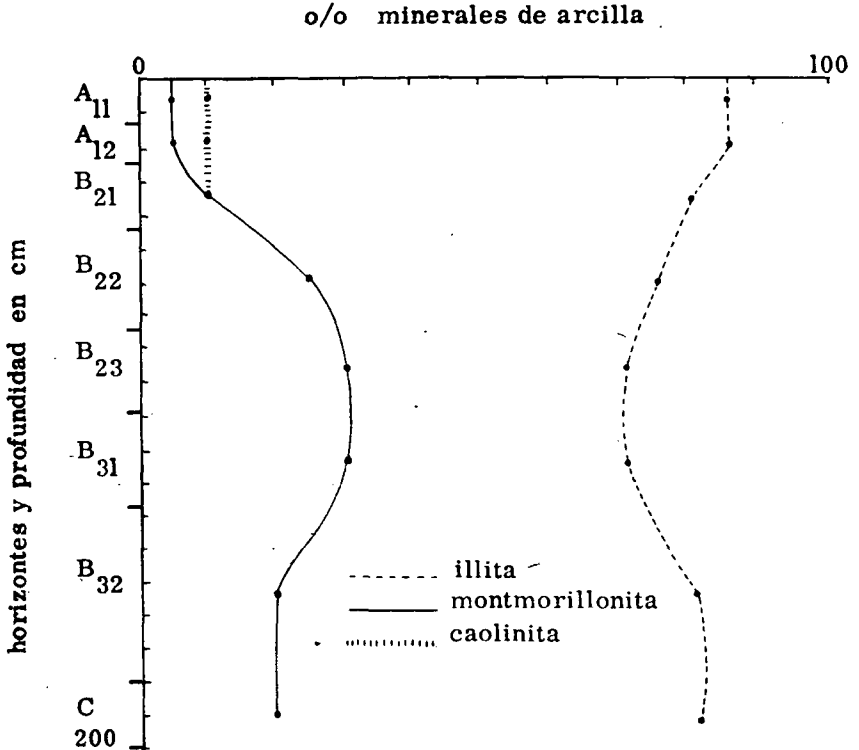


Fig. 2. — Distribución vertical de los minerales de arcilla en el perfil de la serie Santa Lucía

La presencia de estos picos de reflexión es bien evidente en los horizontes superiores, es decir desde el B hacia la superficie. En los demás este fenómeno no se aprecia con claridad, desapareciendo por completo en el C.

Las interstratificaciones son irregulares complejas y del tipo illita-montmorillonita. Son bien evidentes en los horizontes superiores, siendo escasas en los demás.

Serie Manantiales

Morfológicamente, ocupa los sectores negativos del microrrelieve presente en las pendientes marginales a los cursos de agua, donde también se desarrolla la serie Santa Lucía y las partes más bajas al pie de las mismas.

En este suelo, el nivel freático afecta al perfil en forma marcada, ya que oscila entre 0,50 y 1 m de profundidad.

El escurrimiento superficial es muy lento (grado 1) y la permeabilidad es del mismo grado. Por otra parte, el peligro de anegamiento es muy alto.

Se trata de un suelo imperfectamente drenado (clase 1), que presenta más del 40 % de Na^+ de intercambio desde la superficie, lo que lo ubica en la clase 33 de alcalinidad.

La cobertura vegetal natural de estos suelos es escasa y en su totalidad, está integrada por *Distichlis spicata* y *Distichlis scoparia*, presentándose también sobre la superficie costras de Nostoc.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

- A 11 (0-13 cm) Gris pardusco claro, 10 YR 6/2 en seco; pardo grisáceo oscuro, 10 YR 4/2 en húmedo; franco limoso, a limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; no plástico, ligeramente adhesivo; pH 9,1; moderadas concreciones de CO_3Ca y escasas de Fe; moteados escasos finos y débiles; muy abundantes raíces, límite claro y suave.
- Por encima de este horizonte, y con un espesor de 3 cm, se presenta un enlame, con estructura laminar fina moderada, parcialmente edafizado.
- A 12 (13-20 cm) Gris pardusco claro, 10 YR 6/2 en seco; pardo a pardo oscuro, 10 YR 4/3 en húmedo; franco arcillo limoso a franco limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; duro en seco; friable en húmedo; muy plástico, adhesivo; pH 9,9; moderadas concreciones de CO_3Ca y escasas de Fe; moteados escasos finos y débiles; abundantes raíces; límite abrupto y ondulado.
- B 21 (20-37 cm) Pardo, 10 YR 5/3 en seco; pardo grisáceo oscuro; 10 YR 4/2 en húmedo; arcillo limoso; estructura columnar gruesa y media fuerte que rompe en bloques angulares finos fuertes; duro en seco; firme en húmedo; muy plástico; adhesivo; pH 9,8; abundantes concreciones de CO_3Ca ; abundantes barnices; moteados escasos, finos y débiles; moderadas superficies de deslizamiento (*slickensides*); escasas raíces; límite claro suave.
- B 22 (27-60 cm) Pardo, 7,5 YR 5/4 en seco; pardo a pardo oscuro, 7,5 YR 4/4 en húmedo; franco arcillo limoso; estructura prismática media fuerte que rompe a prismas menores, muy duro en seco; firme en húmedo; plástico; adhesivo; pH 9,5; muy abundantes concreciones de CO_3Ca ; moderados barnices; moteados comunes medios y precisos; abundantes superficies de deslizamiento (*slickensides*); vestigios de raíces; límite gradual irregular.

Análisis físico químico del perfil de la Serie Manantiales

Horizonte.....	A11	A12	B21	B22	B3	C
Profundidad (cm).....	0-13	13-20	20-37	37-60	60-115	115-130
Factor de humedad	1,031	1,041	1,086	1,083	1,110	1,065
Materia orgánica :						
C (°/o).....	0,94	0,68	0,54	0,32	0,18	0,12
N (°/o).....	0,110	0,076	0,064	0,048	0,022	0,022
C/N.....	9	9	8	7	5	5
Textura en °/o :						
Arcilla (< 2 μ).....	17,8	27,3	43,7	36,1	20,4	15,7
Limo (2-20 μ).....	33,0	29,3	18,6	25,3	30,6	31,5
Limo (2-50 μ).....	74,7	66,6	53,3	59,4	73,0	78,8
Arena muy fina (50-100 μ).....	6,7	5,4	2,8	3,8	6,0	4,9
Arena fina (100-250 μ).....	0,8	0,7	0,2	0,7	0,6	0,6
Arena media (250-500 μ).....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arena gruesa (500-1000 μ).....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa (1000-2000 μ).....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CaCO ₃ (°/o) V.....	0,4	0,9	2,2	2,9	1,3	2,6
Equivalente de humedad (°/o).....	32,8	42,8	82,5	77,5	44,1	37,1
Resistencia de la pasta Ohms/cm.....	868	443	388	554	794	1.324
pH en pasta.....	8,9	9,7	9,7	9,1	8,5	8,3
pH en H ₂ O (1 : 2,5).....	9,1	9,9	9,8	9,5	9,0	8,6
pH en 1 N KCl (1 : 2,5).....	8,1	8,3	8,3	7,9	7,5	7,4
°/o de saturación	41	49	105	88	48	41
Conductividad (mmhos/cm).....	0,8	2,0	0,8	0,4	0,3	—
Cat. de cambio (m. e./100 gr) :						
Na ⁺	6,4	11,8	25,8	16,5	9,9	4,6
K ⁺	2,6	2,9	6,8	5,7	4,3	3,4
°/o Na ⁺ en cambio del v. T.....	40	53	64	48	31	14
Valor T (m. e./100) NH ₄ ⁺ ó Na ⁺	16,1	22,5	40,0	34,3	31,8	25,1

- B3 (60-115 cm) Pardo claro, 7,5 YR 6/4 en seco; pardo a pardo oscuro, 7,5 YR 4,5/4 en húmedo; franco limoso; estructura en bloques subangulares y angulares gruesos y medios débiles con tendencia a masiva, ligeramente duro en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 9,0; muy abundantes concreciones de CO₃Ca y escasas de Fe; escasos barnices; moteados comunes finos y sobresalientes; nódulos parcialmente cementados; con tendencia a fragipán; límite gradual suave.
- C (115-130 cm⁺) Amarillo rojizo, 7,5 YR 7/6 en seco; pardo, 7,5 YR 5/4 en húmedo; franco limoso; estructura masiva; blando en seco; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; pH 8,6; moderadas concreciones de CO₃Ca, moteados comunes medios y precisos.

Clasificación:

Natracualf mólico.

Mineralogía de la fracción arcilla:

El estudio de los minerales de arcilla que componen este perfil no muestra mayores diferencias con el correspondiente a la serie Santa Lucía (fig. 3 y tabla 2).

TABLA 2
Perfil Manántiales

Horizonte	Profundidad	% Montmorillonita	% Illita	% Caolinita	% Feldespato
A11....	0-13	15	75	10	—
A12....	13-20	10	80	10	—
B21....	20-37	20	70	10	escaso
B22....	37-60	25	70	5	—
B3.....	60-115	20	80	—	escaso
C.....	115-130 ⁺	10	90	—	—

Illita (10 Å) es el mineral de arcilla dominante estando montmorillonita (15 Å) y caolinita (7,1 Å) en cantidades subordinadas.

La distribución porcentual de estos minerales (fig. 4), a través de los diferentes horizontes, indica que illita es muy abundante en el A 11 y el A 12, y disminuye ligeramente en el B 21 y el B 22. A partir de este último y hacia profundidad, vuelve a incrementarse, alcanzando en el B 3 y el C su máxima representación dentro del perfil.

Montmorillonita, por su parte, luego de una muy leve disminución de sus porcentajes en el A 12, se incrementa en los horizontes intermedios,

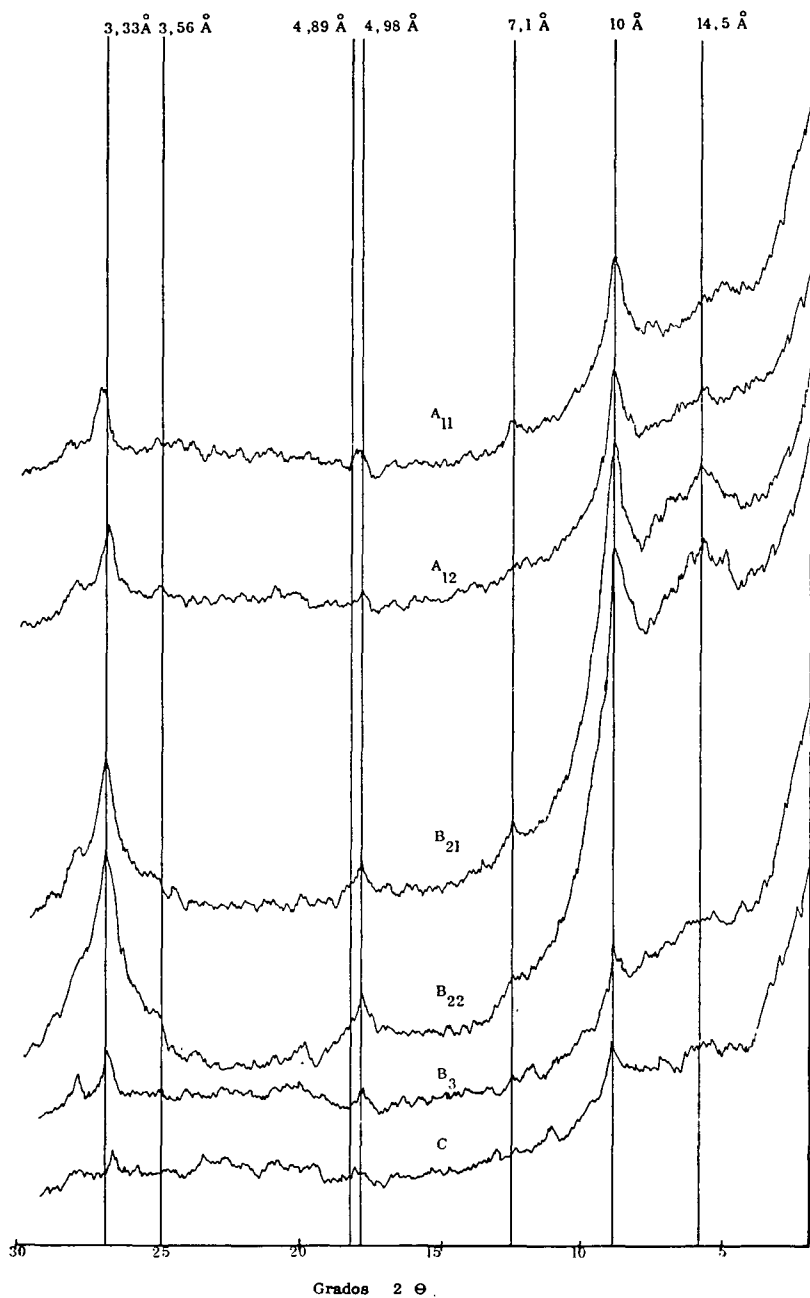


Fig. 3. — Difractogramas de Rayos X del perfil de la serie Manantiales (fracción < 2μ).
Muestras naturales

llegando a un máximo en el B 22. Luego, en el B 3, comienza a disminuir nuevamente hasta el C.

En lo que se refiere a caolinita, se mantiene en escasa proporción dentro de los tres horizontes superiores, A 11, A 12 y B 21, disminuye ligeramente en el B 22 y desaparece casi por completo en los restantes.

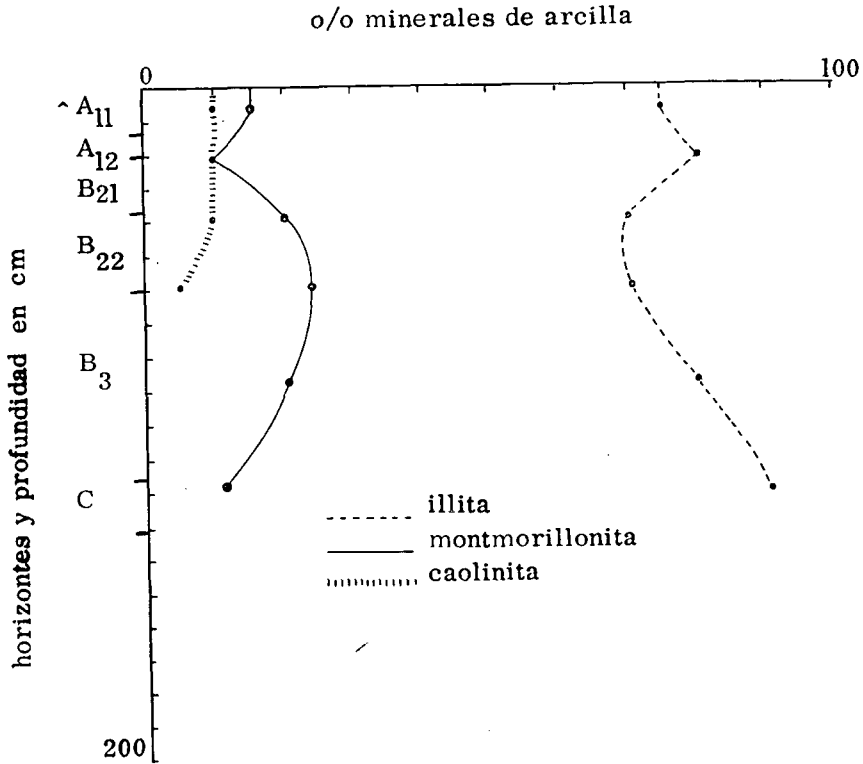


Fig. 4. -- Distribución vertical de los minerales de arcilla en el perfil de la serie Manantiales

El feldespato (F) aparece en los difractogramas, pero, como en el caso anterior, no alcanza valores que justifiquen su cuantificación.

Igual que en el perfil de la serie Santa Lucía, se observa que existe una baja cristalinidad de los minerales de arcilla en los horizontes inferiores. Este fenómeno es bien evidente a partir del B 3.

Los difractogramas de las muestras glicoladas y calcinadas (fig. 6) indican también, en los picos de reflexión 001 de illita, la existencia de interstratificaciones entre 10 y 12 Å, que podrían corresponder a illita

expandible. Este hecho no se manifiesta con tanta claridad como en el perfil de la serie antes estudiada.

Asimismo, las interestratificaciones son del tipo illita-montmorillonita y forman mezclas irregulares complejas, siendo evidentes sólo en los horizontes superiores.

Interpretación

La mineralogía de arcillas descripta no indica que existan notables diferencias entre los dos perfiles analizados. Las especies minerales, las proporciones y la distribución a través de los horizontes son similares, así como también los diversos grados de cristalinidad y las interestratificaciones. Es decir, no refleja las diferencias que determinan su clasificación en órdenes taxonómicos distintos.

En lo que respecta a las interestratificaciones, son del tipo illita-montmorillonita (10-14 n), y se encuentran en el horizonte A y en la parte superior del B 2. Esta posición coincide con la zona de mayor actividad radical, reconocida por diversos autores como aquella donde se producen los más importantes procesos de neoformación de arcillas (BARSHAD, 1959), y donde los procesos edáficos de alteración son más intensos.

La presencia de interestratificaciones, tales como de illita expandible, dentro de esta zona de los perfiles, podría indicar que son el medio por el cual se cumplen las transformaciones de los minerales de arcillas durante los procesos edáficos.

El sentido de estas transformaciones, es de difícil determinación por el bajo grado de cristalinidad de los componentes y por lo complejo de las interestratificaciones, sin embargo en algunos casos se pueden tener evidencias suficientes como para determinar si la transformación es illita hacia montmorillonita o montmorillonita hacia illita.

Este último proceso y tipo de interestratificación fue descrito por los autores en un trabajo anterior, realizado sobre suelos bien drenados de la misma comarca que los aquí estudiados, y también por KLAGES y SHOUTHARD (1968).

Sin embargo, las escasas diferencias cuantitativas entre los minerales de las arcillas, así como de las interestratificaciones y el tipo de ellas, no permite asegurar la existencia de los procesos enunciados, tal como han sido descritos para suelos de otros lugares del mundo.

Con referencia a la distribución porcentual de la montmorillonita en los perfiles estudiados, y comparándola con la que ocurre en aquellos suelos "zonales" asociados, desarrollados sobre el mismo material parental

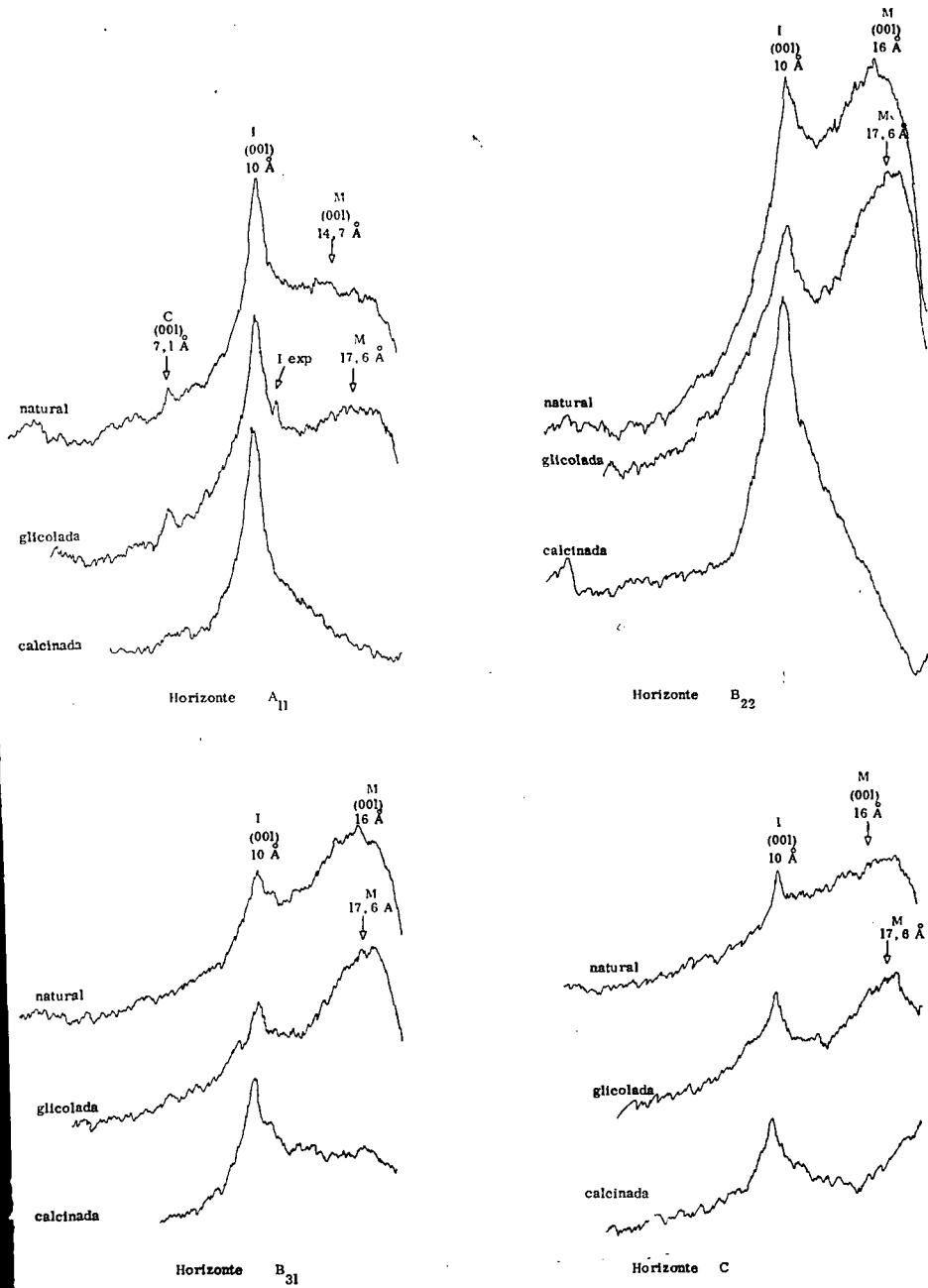


Fig. 5. — Difractogramas de muestras tratadas, correspondientes a horizontes representativos de la serie Santa Lucía

(IÑÍGUEZ y SCOPPA, 1970), se notan ciertas diferencias. Mientras en las series Santa Lucía y Manantiales este mineral se concentra en los horizontes B 2, en aquellas otras (Urquiza y Ramallo, Argiudol típico y Argiudol vértico, respectivamente), sus mayores porcentajes están en los horizontes profundos (B 3 y C).

La relación entre el grado de evolución de los perfiles, junto al alcanzado por la mineralogía de las arcillas, en concordancia con los materiales originarios, parece indicar que las extremas condiciones de mal drenaje y alcalinidad disminuyen el proceso edáfico. Tal hipótesis podría ser factible si se piensa que, en un ambiente de este tipo, el complejo órgano-mineral es muy inestable y disperso. Así, la evolución tanto de las arcillas como del perfil, se ve limitada en virtud de la escasa actividad biológica y del estado de dispersión en que se hallan las arcillas saturadas de sodio.

Tales arcillas sódicas poseen una gran afinidad por el agua, la que es fijada por este catión de elevado radio atómico, cuando hay moléculas de ésta disponibles.

En virtud de su posición en el paisaje, la saturación con agua es muy frecuente y se produce de manera alternativa. Cuando ello ocurre, las moléculas de agua son adsorbidas por este tipo de arcillas, lo que incrementa notablemente el volumen de los agregados que conforman. Esto provoca, por un lado el desplazamiento de masas, con el consiguiente cierre de las grietas que podrían haber existido, así como la formación de espejos de fricción (*slickensides*) y por otro, la desorientación de las láminas de arcilla. Este fenómeno se manifiesta en las láminas de arcilla superficial que cubren los agregados (*clay skins*), la que se mezcla completamente con éstos asumiendo la forma de un ordenamiento randomizado (ARENS, 1970). Así, en el momento de producirse la saturación ocurre un "bloqueo" del suelo, y de esa manera, el proceso de lixiviación se vería disminuido, no permitiendo una fácil migración de las arcillas.

Se estima que, en parte, la concentración de montmorillonita en los niveles inferiores de los perfiles se produce, o se ve favorecida, por un proceso de lixiviación diferencial. Mediante tal mecanismo este mineral, por su menor tamaño, migra hacia la profundidad más rápidamente que los demás.

En estos suelos, por las condiciones ya enunciadas, y a diferencia de los bien drenados asociados (Urquiza y Ramallo), dicho comportamiento de la montmorillonita estaría limitado.

Lo expuesto se corroboraría por el bajo grado de cristalinidad que poseen los minerales de las arcillas en los horizontes más profundos. Efectivamente, el B 3 y el C se encuentran afectados de continuo por las oscila-

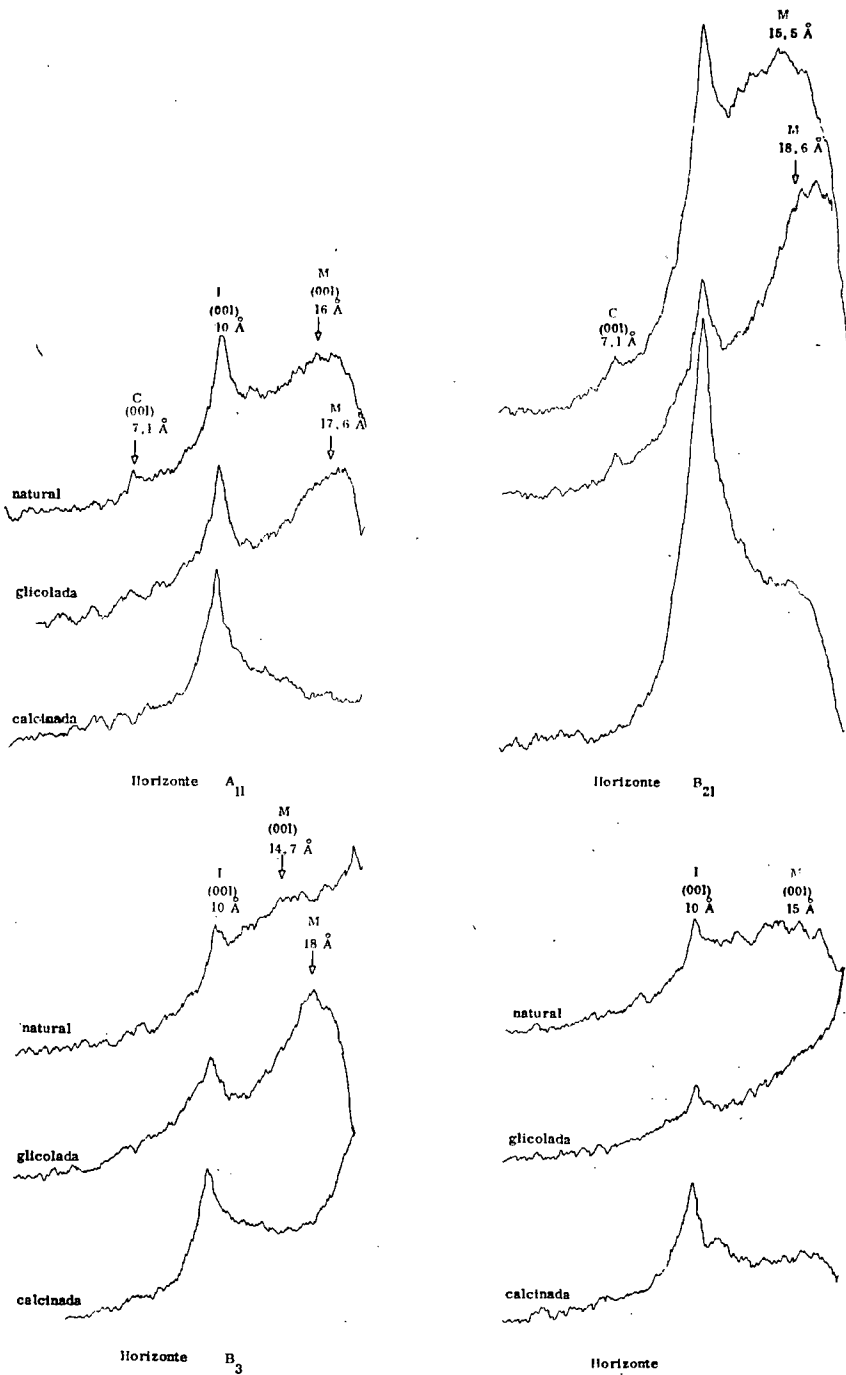


Fig. 6. — Difractogramas de muestras tratadas, correspondientes a horizontes representativos de la serie Manantiales

ciones de la capa freática, generando un ambiente reductor totalmente saturado que limitaría el normal desarrollo de los minerales de las arcillas. Esta baja cristalinidad no fue observada, por lo menos en forma tan evidente, en los suelos bien drenados.

Por último, se debe destacar que ciertos caracteres morfológicos de estos perfiles, como las grandes superficies de deslizamiento entre agregados (*slickensides*), comunes a todos los suelos alcaliño-sódicos de la Región Pampeana, no obedecen fundamentalmente a la presencia de cantidades significativas de arcillas de retículo expandible. Si bien existe un incremento de montmorillonita en el horizonte con mayor contenido total de arcilla, no se considera que ésta sea suficiente como para provocarlo. Lo más probable es que obedezca también a la composición catiónica de los minerales arcillosos, que es sódica, con un mecanismo de formación como el precedentemente explicado.

Conclusiones

El estudio mineralógico de arcillas practicado sobre estos dos perfiles, arroja las siguientes conclusiones:

- I. En ambos suelos el mineral predominante es illita, al que siguen, con porcentajes significativamente menores, montmorillonita y caolinita. Este tipo de mineralogía en general, concuerda con la encontrada, en trabajos anteriores, para otros suelos de la Región Pampeana.
- II. La distribución de estos minerales dentro del perfil muestra que illita es muy abundante en profundidad, disminuye en los horizontes intermedios y vuelve a aumentar hacia la superficie. Por su parte, montmorillonita evidencia un comportamiento totalmente inverso al de illita. En cuanto a caolinita, sólo se encuentra en cantidades cuantificables en los horizontes superiores.
- III. En los dos suelos existen interstratificaciones, que forman mezclas irregulares complejas, del tipo illita-montmorillonita. Estas, así como la presencia de illita expandible, se localizan en la parte superior del perfil y son más evidentes en la serie Santa Lucía.
- IV. Parecería existir una transformación de arcillas por medio de interstratificaciones, dada la presencia de éstas en la zona de mayor actividad radical y la concentración de montmorillonita en los horizontes intermedios. Siendo el material originario rico

en illita (G. BONORINO, 1966), el pasaje podría ser de ésta a montmorillonita, no descartándose el proceso inverso, es decir, de montmorillonita a illita. Las escasas diferencias porcentuales entre los minerales y el tipo de interstratificaciones no permiten asegurar con certeza este mecanismo ni la dirección del mismo.

- V. En los dos suelos se nota una mala cristalinidad de los minerales en los horizontes inferiores (B 3 y C). Esto coincide con la zona afectada por la capa freática, que por el ambiente que genera, sería responsable de este fenómeno.
- VI. La mineralogía encontrada en ambos suelos es muy similar. En consecuencia, los caracteres que obligan a clasificarlos en órdenes taxonómicos distintos (Natracuol y Natraqualf) no se reflejan en la mineralogía de sus arcillas.
- VII. En relación con los suelos bien drenados, a los cuales están asociados, se observa que los aquí analizados presentan una menor evolución en la mineralogía de sus arcillas, que se refleja en los perfiles correspondientes. Las condiciones extremas de mal drenaje y alcalinidad serían las responsables de este fenómeno.
- VIII. La formación de grandes espejos de fricción entre agregados (*slickensides*), se produciría no sólo por existir minerales de retículo expandible (montmorillonita) sino también por la composición catiónica (sódica) de las arcillas.

Lista de trabajos consultados

- ARENS, P. L., *Algunos aspectos de la formación y evolución de suelos en la provincia de Buenos Aires*. Trabajo presentado en la 1ª Reunión sobre Suelos de la provincia de Buenos Aires, organizada por la CIC, La Plata, noviembre, 1970. Inédito.
- ARENS, P. L. y ETCHEVEHERE, P. H., *Normas de Reconocimiento de Suelos*, ISA, INTA, Buenos Aires, 1966.
- BARSHAD, I., *Factors Affecting Clay Formation*. Proc. of Sixth Nat. Conf. of Clays and Clay Minerals, 1959.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., "Soil Clay Mineralogy of the Pampa Plains, Argentina", en *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 36, N° 4, 1965. pp. 1026-1035.
- GORBUNOV, N. I., "Individual and interstratified minerals in soils, and their identification by the X-Ray", en *Soviet Soil Science (Pochvovedeniye)*, N° IX, 1968. pp. 1288-1299.
- LIÑIGUEZ, A. M. y SCOPPA, C. O., "Los minerales de arcilla en los suelos "zonales" ubicados entre los ríos Paraná y Salado (Provincia de Buenos Aires)". en

- Revista de Investigaciones Agropecuarias*, INTA, Serie 3, *Clima y Suelo*, Vol. VII, N° 1, 1970.
- *Evolution of Clay Minerals in an Hydromorphic Soil of the Pampean Region of Argentina*. Trabajo presentado al Joint Meeting I.S.S.S., Comm. V-VI, junio, 1971. Pseudogley and Gley Genesis and Use of Hydromorphic Soils. Stuttgart-Hohenheim, Alemania Occidental. En prensa.
- JOHNS, W. D.; GRIM, R. E. y BRADLEY, W. F., "Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods", en *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 24, N° 4, 1954. pp. 242-251.
- KLAGES, M. G. y SOUTHARD, A. R., "Weathering of montmorillonite during formation of a Solodic Soil and Associated Soils", *Soil Science*, Vol. 106, N° 5, 1968. pp. 363-368.
- SCOPPA, C. O. y VARGAS GIL, J. R., *Delimitación de subzonas geomorfológicas en un sector de la Región Pampeana y sus relaciones edafogénicas*. Actas de la V° Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Santa Fe, 1969.
- SOIL SURVEY STAFF, *Soil Classification. A comprehensive system 7th. Approximation*. S.C.S., 1960. EE. UU.
- SOIL SURVEY STAFF, *Supplement to soil classification system 7th. Approximation*. S.C.S., 1967. EE. UU.
- THE UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA PRESS, *Soil clay mineralogy*. Un simposio editado por Rich, C. J. y Kunze, G. W., 1964.